

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Racionalizace Výrobního procesu
v BONATRANS GROUP a.s.

Rationalization of the Production Process
in BONATRANS GROUP a.s.

Student:

Miroslav Svoboda

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Josef Novák, CSc.

Ostrava 2009

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SVOBODA, M. Racionalizace Výrobního procesu v BONATRANS GROUP a.s. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 51s.

Bakalářská práce, vedoucí Novák, J.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací výroby železničních kol na karuselových soustruzích. Optimalizací řezných podmínek. Optimalizací výrobních nákladů a nákladů na nákup nástrojů. Na základě uvedených poznatků je možné upravit způsob hodnocení trvanlivosti nástrojů pro obrábění železničních kol v BONATRANS GROUP a.s.

ANOTATION OF THESIS

SVOBODA, M. Rationalization of the Production Process in BONATRANS GROUP a.s. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 51p. Thesis, head: Novák, J.

This diploma work is dealing with rationalizing the production of the railway wheels by means of vertical lathes. Optimizing cutting conditions. Optimizing production costs and costs for the purchase of tools. Based on these findings it is possible to adapt the current method for evaluating the life-time of the tools used for the working of railway wheels in the Company BONATRANS GROUP a.s.

Obsah bakalářské práce

SEZNAM ZKRATEK.....	8
1 ÚVOD.....	9
1.1 CÍL PRÁCE	9
1.2 HISTORIE BONATRANS GROUP A.S.....	10
1.3 VÝROBNÍ PROGRAM	11
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	12
2.1 PŘÍPRAVA VÝROBY	12
2.2 OBRÁBĚCÍ CENTRA.....	12
2.2.1 Linka kol 1 (LK1).....	13
2.2.2 Linka kol 2 (LK2).....	14
2.3 PARAMETRY OBRÁBĚNÍ.....	15
2.4 POUŽÍVANÉ VBD	16
2.4.1 Konstrukce VBD	17
2.4.2 SECO.....	17
2.4.3 KORLOY.....	18
2.5 DOSUD PROVÁDĚNÁ MĚŘENÍ.....	18
3 SPECIFIKACE PROBLÉMU	20
3.1 ZAJIŠTĚNÍ DODÁVEK NÁSTROJŮ	20
3.2 KALKULACE NÁKLADŮ	20
4 TEORIE OPTIMALIZACE PARAMETRŮ OBRÁBĚNÍ.....	21
4.1 PODKLADY PRO OPTIMALIZACI ŘEZNÝCH PODMÍNEK	22
4.2 KRITÉRIA OPTIMÁLNOSTI	22
4.2.1 Omezení dané obrobiteľností, řezivostí a řezným prostředím.....	22
4.2.2 Kritérium minimálních výrobních nákladů.....	23
4.2.3 Technická omezení.....	26
5 MĚŘENÍ TRVANLIVOSTI VBD.....	28
5.1 MĚŘENÍ.....	30
5.1.1 Měření trvanlivosti nástroje při výrobě kola 903.17 CLSA	30
5.1.2 Měření trvanlivosti při výrobě kola 904.29 CLSB	33
5.2 OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO VBD SECO RCMX 2507 TP200.....	34
5.2.1 Výpočet výkonové normy	37
5.3 OPTIMALIZACE STROJNÍCH NÁKLADŮ PRO VÝROBEK 904.29 CLSB	37
5.3.1 Výpočet nákladů (KORLOY).....	37
5.3.2 Výpočet nákladů (SECO).....	38
5.4 KALKULACE NÁKLADŮ NA NÁKUP VBD RCMX 2507.....	39

5.5	NÁVRH ŘEŠENÍ	40
6	DISKUSE.....	41
6.1	OMEZUJÍCÍ PODMÍNKY OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PARAMETRŮ	41
6.1.1	<i>Drsnost povrchu</i>	41
6.1.2	<i>Tolerance rozměrů</i>	42
6.1.3	<i>Technický stav stroje</i>	43
6.1.4	<i>Tvorba třísek</i>	44
6.2	ÚSPORY NÁKLADŮ	44
6.2.1	<i>Náklady na nákup nástrojů</i>	44
6.2.2	<i>Náklady na výrobu</i>	45
7	ZÁVĚR	46
	PODĚKOVÁNÍ	47
	LITERATURA:	48
	PŘÍLOHA 1 - VÝKRES ŽELEZNIČNÍHO KOLA 904.29 36“.....	49
	PŘÍLOHA 2 - VÝKRES ŽELEZNIČNÍHO KOLA 903.17.....	50
	PŘÍLOHA 3 – VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	51

Seznam zkratek

zkratka	jednotky	popis
CNC		computer numeric control
CÚZ		celková účinnost zařízení
CVD		Chemical Vapour Deposition
HB		tvrdost podle Brinella
IFS		Industrial and Financial System
PVD		Physical Vapour Deposition
Ra	mm	střední aritmetická úchylka profilu drsnosti
RVHP		Rada vzájemné hospodářské pomoci
T	min	trvanlivost
THN		technicko hospodářská norma
VB	mm	šířka otupení hřbetu otěrem
VBD		vyměnitelná břitová destička
VZV		vysokozdvíhový vozík
a_p	mm	hloubka úběru
b	mm	šířka třísky
f	mm/ot.	posuv (feed)
v	m/min	řezná rychlost

1 Úvod

„Když něco nemůžete změřit, nemůžete to ani řídit.“ Peter Drucker

1.1 Cíl práce

Racionalizace práce, procesů a vůbec všech činností firmy je důležitým nástrojem pro snižování výrobních nákladů každé firmy. V době finanční a hospodářské krize je toto téma obzvlášť zajímavé. Konkurence firem ve strojírenském oboru je velká a jen firmy s dobrou strategií a kvalitním řízením všech procesů mají naději na úspěch. Řízení procesů spočívá nejen v rozhodování, vydávání příkazů a nařízení, ale i ve zpětné vazbě, kterou je kontrola plnění zadaných úkolů. Pro správné rozhodnutí je potřeba znát co nejvíce veličin, které lze měřit. Ve strojírenské výrobě je nejdůležitější spotřebovaný čas a počet spotřebovaných nebo vyrobených kusů. Známé úsloví „čas jsou peníze“ zde platí na sto procent. Ve strojírenských firmách, které se zabývají strojním obráběním je jednou z největších položek výrobních nákladů spotřební materiál, kterým jsou hlavně nástroje. Kvalita nástrojů stoupá, jejich ceny postupem času klesají, ale nároky na nástroje jsou čím dál vyšší díky požadavku na zkracování výrobního času. Nejvíce používanými nástroji pro obrábění v BONATRANS GROUP a.s. jsou vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutých karbidů.

Hlavní činností firmy je výroba železničních dvojkolí a jednotlivých komponent jako náhradní díly. Vstupním materiálem pro výrobu jsou ingoty a konti slitky. Provoz „teplá část“ vyrábí z těchto ingotů polotovary (výkovky), které se dále obrábějí na jednotlivých linkách. Polotovary jsou vyráběny kováním a lisováním zatepla. Jízdní profily polotovarů kol jsou před obráběním ještě zatepla válcovány a kaleny, aby profil kola vyhovoval požadovaným vlastnostem.

Na lince kol je jako první a druhá operace hrubování kola z každé strany a některé části kola, jako je profil, náboj a list kola, jsou dokončena načisto. Třetí operací je převážně dokončení listu kola. To spočívá ve vrtání otvorů do listu, vrtání díry v náboji načisto nebo soustružení drážek na vnitřním průměru kola. Další operace jsou dokončovací a kontrolní. Mezi dokončovací operace patří odjehlování otvorů, zahlubování, ražení čísel. Zjišťování vnitřních a povrchových vad a kontrolní měření všech rozměrů dle dokumentace patří mezi kontrolní činnosti prováděné úsekem technické kontroly.

Nejvíce odebraného materiálu připadá na první a druhou operaci. Z toho vyplývá, že i spotřeba VBD je zde nejvyšší. Materiály používané pro výrobu kol mají různé chemické složení a tím i různé mechanické vlastnosti. Díky technologii výroby a požadavkům na vlastnosti kola jsou různé i mechanické vlastnosti jednotlivých částí kola a vrstev. Jelikož jsou polotovary vý-

kovky, tak vrchní vrstva je podstatně tvrdší a může obsahovat drobné vměstky nebo okuje. Profil kola je nejtvrdší částí kola, protože musí být odolný proti opotřebení a naopak list kola je méně tvrdý, protože musí tlumit rázy při jízdě.

Parametry obrábění mají i zásadní vliv na spotřebu strojního času. Optimální řezné podmínky jsou předpokladem nejen pro úsporu nákladů na nástroje, ale i dalších nákladů na výrobu. Během obrábění dochází nejen k opotřebení VBD, ale často i k prasknutí VBD nebo ulomení držáku. V lepších případech je škoda pouze na nástrojích, v horším případě dochází i k poškození výrobku, který nelze opravit.

Výsledkem práce by měla být optimalizace řezných podmínek pro konkrétní materiály polotovarů a použité VBD a tím i snížení rizika poškození nástroje nebo výrobku. Zhodnocení efektivity nákladů na pořízení VBD a určení oblastí použití. Předpokládám, že je možné docílit značných úspor výrobních nákladů optimalizací řezných podmínek, stanovením přibližné trvanlivosti VBD a přesnějším určením pro konkrétní aplikace.

Každý katalog výrobce obsahuje údaje pro zvolení počátečních řezných podmínek, ale s ohledem na stav stroje, vlastnosti polotovaru a konkrétní operaci nelze zcela přesně tyto podmínky nastavit bez vyzkoušení v praxi. Výrobky se často opakují a některé části výrobků, jako je např. jízdní profil kola, jsou často shodné nebo z části podobné. Řídící programy obráběcích center využívají programy složené z podprogramů vytvořených na stejném základu, ale postupem času dochází ke změnám díky velkému počtu pracovníků, kteří je vytvářejí nebo odladí před zavedením do výroby.

V této práci bych se chtěl podrobněji zabývat řeznými podmínkami a porovnat VBD různých výrobců, jejich provedení (geometrii) a použité materiály. Vzhledem k velkému počtu používaných materiálů pro výrobu kol a typů VBD, se zaměřím na obrábění kol a VBD kruhového tvaru o průměru 25 mm.

1.2 Historie BONATRANS GROUP a.s.

Firma BONATRANS GROUP a.s. vznikla v roce 1965 jako Závod železničního dvojkolí v rámci Železáren a drátoven Bohumín. Hlavním sortimentem výroby měla být železniční dvojkolí pro domácí zákazníky i zákazníky ostatních zemí střední Evropy. K zásadní změně došlo v roce 1989 po rozpadu RVHP a firma začala rozvíjet své obchodní aktivity na další trhy. V roce 1999 vzniká samostatný podnik Bonatrans a.s. a firma se začíná v širším měřítku rozvíjet po stránce technologické i obchodní. Jsou instalována nová obráběcí centra a v roce 2005 i nový kovací lis. Obrat v roce 2007 dosahuje devítinásobku obrátu roku 1991.

1.3 Výrobní program

BONATRANS GROUP a.s. je největším výrobcem železničních dvojkolí v zemích EU. Své výrobky dodává do 70 zemí světa. Firma vyrábí dvojkolí pro osobní i nákladní dopravu a pro městskou hromadnou dopravu. V současné době zaměstnává okolo 1100 zaměstnanců. Železniční dvojkolí se vyrábí v různých provedeních dle příslušných norem cílové železnice. Mezi nejnáročnější aplikace patří lokomotivní dvojkolí s převodovkou pro vysoké rychlosti a dvojkolí se složenými koly odpruženými pryžovými segmenty pro vozy metra. Zvláštní aplikací je dvojkolí s malým průměrem kol pro nízkopodlažní vozy přepravující kamiony. Dvojkolí musí splňovat náročné požadavky zákazníků jak v oblasti bezpečnosti, tak i životního prostředí. Snižování hluku a vibrací je důležité hlavně v aplikacích pro městskou hromadnou dopravu. K tomu účelu firma stále zkoumá a vyvíjí různé tlumiče hluku a odpružená kola. Nápravy se vyrábí pro hnací dvojkolí s více sedly pro převodovky a brzdové kotouče, pro hnaná dvojkolí se dvěma sedly. Molybdenovaná sedla zvyšují životnost nápravy při demontáži kol a převodovek, duté nápravy umožňují přesnou diagnostiku za provozu a tím i vyšší bezpečnost provozu. Vlastní výzkum a vývoj umožňuje firmě vyvíjet dvojkolí vlastní konstrukce dle konkrétních požadavků zákazníka s ohledem na optimální mechanické vlastnosti, hmotnost a životnost. Kromě vývoje nových konstrukcí se pracovníci zabývají i zlepšováním materiálových vlastností kol. Materiál kol má zásadní vliv na životnost, bezpečnost a tím i užitnou hodnotu pro zákazníka. Výzkumem a vývojem se zabývá přibližně 20 pracovníků technického útvaru.



obr. 1.1 - Projektová dvojkolí

2 Analýza současného stavu

2.1 Příprava výroby

Poptávky a nabídky

Firma vyrábí výrobky dle požadavků zákazníka nebo nabízí výrobky vlastní konstrukce. Obchodní oddělení zajišťuje styk se zákazníkem a jeho hlavním úkolem je zajistit náplň výroby. Jednotliví obchodníci mají přidělený okruh zákazníků dle území a významnosti. Cenové kalkulace pro vytvoření obchodní nabídky tvoří pracovníci finančního úseku. Zdrojů pro podklady kalkulace nákladů je několik. Jedním ze zdrojů je systém IFS, ve kterém jsou definovány technologické postupy pro jednotlivé výrobky a spotřeby času jednotlivých operací. Všechny informace potřebné pro kalkulaci nákladů tvoří tzv. technicko-hospodářskou normu (THN).

Zpracování technologie výroby

Pracovníci obchodního oddělení musí úzce spolupracovat již při vytváření nabídky s technickým úsekem. Konzultují proveditelnost požadavků zákazníka. Technologie výroby musí naopak konzultovat případné pozdější odchylky, vzniklé během výroby, od požadavků zákazníka.

Úspěšná nabídka se mění v zakázku a většina práce přechází na technický úsek. Technický úsek je rozdělen na dvě oddělení. Technologové pro teplou část připravují výrobu polotovarů a druhá skupina technologů připravuje a dohlíží na výrobu na obrobně. Technický úsek připravuje výrobní dokumentaci, technologické postupy a šablony pro výrobu. Technologové vytvářejí programy pro obráběcí centra a pomáhají při jejich odladění ve výrobě.

Plánování výroby

Příprava výroby se provádí podle plánu výroby, který sestavuje logistický útvar v určeném předstihu. Je používáno zpětné plánování, protože všechny výrobky mají před zahájením výroby svého odběratele. Základem pro plánování jsou termíny dodání, technologické postupy v IFS a celková účinnost zařízení CÚZ.

2.2 Obráběcí centra

Výroba železničních kol je prováděna ve dvou provozech označených interně jako linka kol 1 (LK1) a linka kol 2 (LK2). Každá linka pracuje samostatně se svým vlastním tokem materiálu. Obráběcí centra na obou linkách nejsou stejná, ale provádějí obdobné operace a je možné je pro

většinu operací vzájemně nahradit. Výsledným výrobkem obou linek je opracované železniční kolo, které je připraveno pro povrchové úpravy nebo montáž.

Obráběcí centra jsou poloautomatická s CNC řízením. Zpravidla jeden pracovník obsluhuje jeden stroj. Některá pracoviště jsou přizpůsobena pro vícestrojovou obsluhu.

2.2.1 Linka kol 1 (LK1)

HEGENSCHEIDT

Obráběcí centra jsou umístěna na provozu LK1 a tvoří linku pro obrábění kol pro nákladní dopravu. Na kolech se provádí 1. a 2. operace, která spočívá v obrobení kola z obou stran načisto a díry v náboji nahrubo. HEGENSCHIEDT je výkonné obráběcí centrum se čtyřmi karuselovými soustruhy, pracujícími v páru, mezi kterými se kola posouvají po dopravníku a výměna obrobku je prováděna samostatnými manipulátory. Soustruhy jsou řízeny systémem SINUMERIK 840D. Kola jsou obráběna na každém soustruhu z jedné strany tzn., že každá dvojice vyrobí 1 kolo. Takt výroby je závislý na délce obrábění jednotlivé strany kola. Jeden pracovník může obsluhovat jednu dvojici strojů, protože z obou strojů je možné dohlížet na průběh obrábění druhého stroje pomocí kamery. Soustruhy mají dva suporty se čtyřmi pozicemi pro držáky nástrojů. Obrábění kola probíhá bez chlazení kapalinou. Odvod tepla je tedy jen třískou, držákem a obrobkem. Nároky na VBD jsou na těchto centrech vyšší než na LK2, kde má většina center chlazení kapalinou a obsluha po celou dobu sleduje proces obrábění.

RTK

Centra RTK jsou celkem 3 a každé má dvojici karuselových soustruhů značky TOS Hulín. Zde se vyrábí kola pro nákladní dopravu, ale vzhledem k nižší kapacitě dvojice soustruhů a lepší variabilitě se mohou vyrábět menší výrobní dávky. Přejít na jiný průměr kola je jednodušší než u centra HEGENSCHIEDT díky snadnějšímu přestavení sklíčidla. Dvojice soustruhů je propojena dopravníkem a výměna obrobku je prováděna samostatnými manipulátory. Soustruhy mají dva suporty s revolverovou hlavou se čtyřmi pozicemi pro držáky nástrojů. Při obrábění se nepoužívá chladicí kapalina. Každý soustruh řídí jeden pracovník. Soustruh využívá řídicí systém SINUMERIK 840C.

Na lince kol 1 jsou i další centra a stroje, které provádí další operace jako je vrtání díry v náboji načisto, vrtání otvorů do listu kola a další operace. V této práci se chci zabývat hlavně 1. a 2. operací, kde jsou používány kruhové VBD průměru 25 a 32 mm.

2.2.2 Linka kol 2 (LK2)

V tomto provozu jsou vyráběna převážně tzv. projektová kola a ostatní kola s vyššími nároky na přesnost a kvalitu obrobeného povrchu. Výroba projektových kol se nijak zásadně neliší v 1. a 2. operaci, ale výrobní dávky jsou menší a nároky na parametry jednotlivých výrobků jsou vyšší. Často jsou požadovány nižší drsnosti povrchů a tolerance úchylek tvaru a rozměrů.

SKAT

Obráběcí centra SKAT jsou na LK2 celkem čtyři. Pracují ve dvojicích, tak že každý soustruh provádí jen jednu operaci. Soustruhy ve dvojici nejsou navzájem závislé a nemusí vyrábět stejné kolo. Je to výhodné zejména v případě, kdy 1. a 2. operace nemá stejný rytmus. Centra mají dva příčnickové suporty. Nástroje jsou v řetězových zásobnících pro 30 nástrojů. Soustruh je osazen systémem SINUMERIK. Manipulace s obrobkem je pomocí otočného manipulátoru s ručním ovládáním. Nástroje jsou během obrábění chlazeny kapalinou. Chlazení nástrojů dovoluje obrábět vyššími řeznými rychlostmi a prodlužuje trvanlivost nástrojů.



obr. 2.1 - soustruh SKAT TOS Hulín

VDM

Pracoviště s obráběcími centry VDM-MAG HESSAPP jsou dvě. Jsou to nová velice výkonná obráběcí centra s plně automatickým chodem včetně výměny obrobku pomocí manipulátoru GÜDEL. Centra mají dva karuselové soustruhy se dvěma suporty a samostatnými zásobníky nástrojů. Oproti ostatním strojům jsou pouze zde používány VBD průměru 32 mm. Každý soustruh pracuje samostatně a vyrábí kompletní kolo bez dokončovacích operací. Po opracování jedné strany, manipulátor kolo automaticky otočí a soustruh obrobí kolo z druhé strany.



obr. 2.2 - Manipulátor GÜDEL

I zde vše řídí systém SINUMERIK. Opotřebení nástrojů je možno sledovat online na obrazovce ovládacího panelu. Úkolem pracovníka je sledovat chod stroje, pravidelně provádět kontrolní měření rozměrů obrobku a provádět výměnu opotřebovaných nástrojů.



obr. 2.3 - Obráběcí centrum VDM 120

SKIT

Soustruhy SKIT jsou konstrukčně stejné jako RTK, ale s tím rozdílem, že nejsou propojeny dopravníkem. Každý stroj má vlastní ručně ovládaný manipulátor pro výměnu obrobku. Na soustruzích jsou převážně obráběna kola z materiálů vyšších pevností pro americké dráhy. Každý soustruh obrábí kolo jen z jedné strany a přesun materiálu mezi manipulátory je prováděn pomocí vysokozdvizného vozíku (VZV). U těchto soustruhů není obrobek chlazen kapalinou.

2.3 Parametry obrábění

Úkolem technologa-programátora je sestavit řídicí program a odladit běh programu pro první výrobky. Při tvorbě programu vychází z dříve vytvořených programů a podprogramů. Funkčnost programu se vyzkouší v simulačním programu a ověří, jestli nemůže dojít ke kolizi nástrojů nebo

zda není možné nějakou úpravou programu ještě zkrátit čas obrábění. Výroba kol probíhá po dávkách a zavádění opakované výroby provádí seřizovač. Polotovary pro další dávku nemají vždy shodné parametry a proto je úkolem seřizovače odladit výrobu prvního kusu z nové dávky a proměřit první hotový kus.

Při seřizování stroje pro opakovanou výrobu jsou parametry obrábění nastaveny dle právě použitých VBD, rozměrů a jakosti materiálu polotovaru a stroje, na kterém bude obrábění probíhat. Může se stát, že polotovary jsou v některých parametrech na hranici tolerance a pak může být čas obrábění jiný než u předchozí dávky.

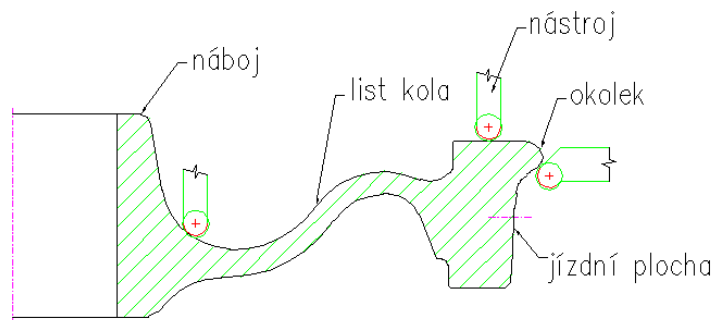
Parametry obrábění volí technolog dle rozměrů a materiálu výrobku, použitého nástroje, technického stavu stroje a svých zkušeností. Řezná rychlost jednotlivých nožů je závislá na právě prováděné operaci druhého nože. Není možné obrábět kolo oběma noži na stejném průměru a blízko středu kola je riziko vzájemné kolize držáků. Na velkých průměrech jsou zase velké krouťací momenty a může dojít k přetížení stroje a následnému zastavení vřetene, popř. uvolnění obrobku ze sklíčidla. Drobné zachvění nebo pohyb kola způsobí viditelné stopy na obráběném povrchu, které mohou být považovány za vadu.

Běžně se používá několik různých značek a provedení VBD. Liší se v materiálu, tvaru lamiče třísky, geometrii břitů a povlaku. Nejběžněji používaná VBD je RCMX 2507 TP200 značky SECO, která je přímo určená výrobcem pro obrábění železničních kol. Používá se jak pro kola z materiálu R7 s nejnižší pevností v tahu, tak pro kola z materiálu CLSC, která jsou těžce obrobitelná.

Tvrdost obráběných kol se liší dle jakosti a tepelné úpravy. Kola jsou zkoušena dle Brinella na automatické měřicí lince na čele věnce. Výsledné hodnoty pro dané materiály se pohybují v průměru tolerance dané technickou normou železnice v zemi zákazníka. Linka měří i průměr polotovaru kola na jízdní ploše. Rozdíly v průměru a tvrdosti mohou způsobit zvýšené zatížení, které v extrémním případě může vést až k poškození nástroje.

2.4 Používané VBD

Pro obrábění kol jsou nejčastěji používány VBD kruhového průřezu pr. 25mm. Mezi nejpoužívanější značky patří SECO, WALTER, KORLOY, SANDVIK. Systém upínání VBD je ISO P. VBD jsou používány pro obrábění věnce, náboje a listu kola. Ostatní části kola jsou dokončovány VBD s vhodnějším tvarem.



obr. 2.4 - Obrábění železničního kola

2.4.1 Konstrukce VBD

Princip konstrukce používaných VBD je stejný. Všechny jsou vyrobené cestou práškové metalurgie. Hlavními složkami jsou karbidy: W, Ti, Ta, Nb, které jsou uloženy v měkkém kovovém pojivu, nejčastěji kobaltu. Vlastnosti karbidů jsou na hranici mezi kovem a keramikou. Mají elektrickou vodivost jako kovy, ale tvrdost blízkou keramice.

Výhodou spékaných tvrdokovů je homogenní struktura díky práškové metalurgii, vysoká tvrdost, pevnost v tlaku a odolnost vůči opotřebení břitu. Vysoká odolnost je zachována i při relativně vysokých teplotách kolem 1000°C, kdy nástroje z rychlořezné oceli již nelze použít. Každý výrobce může měnit vlastnosti výsledných nástrojů vhodnou kombinací karbidů a pojiva.

Vlastnosti nástrojů ze slinutých karbidů jsou dále vylepšovány různými povlaky, které tvoří na relativně houževnatém jádru tenkou vrstvu tvrdokovu. Tato vrstva je odolná proti otěru a snižuje opotřebení ostří VBD. Pro povlakování nástrojů a vyměnitelných břitových destiček (VBD) se používají v principu dvě metody. Je to CVD (Chemical Vapour Deposition) a druhou je PVD (Physical Vapour Deposition). CVD využívá pro depozici směs chemicky reaktivních plynů (např. TiCl_3 , CH_4 , AlCl_3 , apod.) zahřátou na poměrně vysokou teplotu $900 \div 1100^\circ\text{C}$. PVD technologie je založena na fyzikálních principech, odpaření nebo odprášení materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Si, Cr, ...) a jejich následné nanesení na nástroje.

2.4.2 SECO

Značení: RCMX 2507 TP200

RCMX – Silná geometrie pro obrábění při velkých posuvech a hloubkách řezu. Doporučený posuv 0,6 – 1,5 mm/ot. Doporučená hloubka řezu $a_p < 15$ mm. Úhel hřbetu 7° .

TP200 – univerzální houževnatá třída. Řezné rychlosti 50-125 m/min. Povlak technikou CVD $\text{Ti}(\text{C},\text{N})+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$.



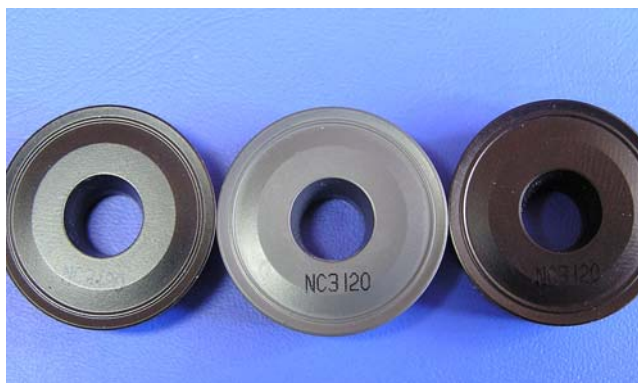
obr. 2.5 - VBD RCMX2507 TP200 (částečně opotřebená)

2.4.3 KORLOY

Značení: RCMX 2507M0-CK NC3120

Doporučený posuv 0,55 - 1,2 mm. Hloubka řezu a_p 4 -12 mm. Úhel hřbetu 7° .

NC3120 – ISO P15-P30. Střední hrubování oceli. Řezná rychlost 150 - 350 m/min. Povlak CVD MT-TiCN+TiC+ Al_2O_3 .



obr. 2.6 - VBD RCMX2507M0-CK NC3120 KORLOY

2.5 Dosud prováděná měření

Dle požadavku provozu nebo nabídky dodavatele se provádějí zkoušky a porovnávání VBD pro konkrétní případy obrábění. Základním ukazatelem je spotřeba VBD při stanovených řezných parametrech a kvalita obráběného povrchu. Údaje o provedené zkoušce jsou zaznamenány v protokolu o zkoušce. Pro optimalizaci řezných parametrů nejsou údaje dostatečné. Z těchto

údajů není možné zjistit míru a způsob dosaženého opotřebení VBD a závislost řezné rychlosti na trvanlivosti nástroje. V protokolu chybí podrobnější popis opotřebení nástroje. Hodnocení dle údajů z protokolu může být subjektivní, protože obráběná kola v jedné dávce se liší tvrdostí a přídavkem na obrábění, které nejsou v protokolu zaznamenány.

3 Specifikace problému

3.1 Zajištění dodávek nástrojů

Zajištění sériové výroby vyžaduje plynulé dodávky materiálů i nástrojů. Jakýkoliv nedostatek materiálu nebo dalších prostředků a následné prostoje mohou mít zásadní ekonomické dopady pro podnik. VBD pr. 25mm jsou nejpoužívanějším nástrojem pro obrábění kol. Proto se firma nemůže spoléhat jen na jednoho výrobce popř. dodavatele nástrojů. Pro zajištění výroby je potřeba zajistit více dodavatelů VBD se srovnatelnými technickými i ekonomickými parametry. Je potřeba stanovit postup pro objektivní posouzení ekonomického efektu.

3.2 Kalkulace nákladů

Spotřeba VBD není známa před započítáním zakázky. Je sledována pouze zpětně podle výdejů ze skladu. Pro kalkulace nových výrobků se používají náklady minulého období. Při změně sortimentu výroby nelze předem určit, jak se budou pohybovat náklady na nástroje.

Trvanlivost nástroje je důležitá z ekonomického hlediska výroby. Přesné určení trvanlivosti nástroje je velmi obtížné. Obrábění první třísky výkovku je nejnáročnější. Vrchní vrstva výkovku je tvrdá, průřez třísky proměnlivý a povrch výkovku může obsahovat drobné vměstky nebo okuje, které jsou velmi tvrdé a mohou poškodit nástroj. Na nových strojích s drahými držáky VBD se provádí výměna při předpokládané době trvanlivosti. Jak nejlépe určit, kdy je ještě bezpečné použít daný nástroj? Nástroje různých výrobců nemají zcela stejné doby trvanlivosti a jsou různě náchylné na poškození.

S trvanlivostí nástroje úzce souvisí i jeho spolehlivost. Vhodnou geometrií břitu a tvrdostí materiálu VBD lze značně snížit riziko náhodného poškození při obrábění první vrstvy výkovku. Záleží na zkušenosti pracovníka jakou VBD použije a jaké parametry nastaví. Přesnější určení VBD a seznámení obsluh by mohlo snížit spotřebu VBD.

Při obrábění vnitřních rádiusů dochází u kruhových VBD k razantnímu nárůstu objemu třísky až o 100%. Tím se zvýší i řezná síla a v mnohých případech dochází k přetěžování strojů.

Dalším z problémů je i spotřeba elektrické energie. V současné době je BONATRANS GROUP a.s. limitována spotřebou elektrické energie. Instalaci nových obráběcích strojů je nutné dobře zvážit a tím je do značné míry omezeno i další rozšiřování výroby. Spotřeba elektrické energie je přímo závislá na řezném odporu nástroje. Jednou z cest k úspoře elektrické energie je změna technologie obrábění a využití nástrojů s nižším řezným odporem.

4 Teorie optimalizace parametrů obrábění

Optimalizace řezných podmínek je součástí celkové optimalizace výrobního procesu. Tak jako je potřeba optimalizovat pracovní podmínky zaměstnanců, toky materiálů, technologické postupy, takt linky apod., tak je potřeba čas od času provést i optimalizaci řezných podmínek.

Pohled některých pracovníků zajišťujících nákup řezných nástrojů není zcela objektivní pokud posuzují jen cenu nástroje vůči jeho trvanlivosti. Trvanlivost je sice důležitou vlastností nástroje, ale dalším důležitým parametrem je i tvorba třísky a optimální řezná rychlost. Všechny stroje ve výrobě jsou s CNC řízením a v některých případech jsou bez přímého dohledu obsluhy. Třísky musí být krátké, jinak dochází k namotání na držák nástroje a výměna nástroje pak neproběhne v pořádku. Modernější centra jsou uzavřená a každé přerušení výrobního procesu je ekonomickou ztrátou. V úvahu je nutné brát i objem třísky. Ta je dopravována systémem dopravníků a pokud dlouhé třísky vytvoří „chuchvalce“, tak dojde k jejich ucpání.

Vysoké náklady na pořízení strojů a nástrojů vyvíjí tlak na maximální využití spotřeby času a tím i využití maximálních řezných rychlostí s ohledem na zatížení strojů a požadovanou kvalitu výroby.

Optimalizaci řezných podmínek je nutno brát jako stanovení optimálních řezných parametrů s ohledem na:

Technické parametry stroje:

- výkon stroje
- technický stav stroje
- tuhost konstrukce stroje
- maximální dovolené zatížení
- rozsah otáček a posuvů
- přesnost

Obrobek:

- povrch (drsnost)
- přesnost
- geometrie
- obráběný povrch (odlitek, výkovek, tryskaný povrch)
- rozměry

Řezné prostředí:

- chlazení kapalinou
 - o nízkotlaké
 - o vysokotlaké
- chlazení mlhou
- bez chlazení

Ekonomický efekt:

- produktivita
- výrobní náklady
- zisk

V případě obrábění železničních kol je hlavním limitem optimalizace kvalita povrchu obrobku. Kvalita povrchu obráběných kol je závislá na geometrii nástroje, tuhosti suportu a technickém stavu stroje (odolnosti vůči vibracím), délce vyložení nástroje. Maximální posuv lze vypočítat ze známých parametrů nástroje. Prostor pro optimalizaci je v určení optimální řezné rychlosti.

4.1 Podklady pro optimalizaci řezných podmínek

Základním a nejdůležitějším podkladem pro optimalizaci řezných podmínek je vztah mezi trvanlivostí nástroje a řeznými podmínkami. Bez těchto údajů nelze optimalizaci provést. Vztah je možné zjistit experimentálně a většinou je formulován pomocí komplexního Taylorova vztahu. Pro optimalizaci lze použít i další podklady např. vztah mezi tangenciální složkou řezné síly a řeznými podmínkami a další.

Mimo zjištěné řezné podmínky a trvanlivost je pro optimalizaci nutné znát i technicko-ekonomické údaje o výrobním zařízení, nástrojích, mzdových nákladech a jiných. Ekonomické údaje je možné zjistit u příslušného ekonomického úseku.

4.2 Kritéria optimálnosti

4.2.1 Omezení dané obrobiteľností, řezivostí a řezným prostředím

Toto omezení je významné při řešení optimalizace řezných podmínek. Je funkcí trvanlivosti a zároveň omezující podmínkou.

Obrobiteľnost obráběného materiálu lze popsat funkčním vztahem mezi parametry řezného procesu. Podobně i řezivost nástroje a řezné prostředí. To je možné pomocí komplexního Taylorova vztahu, který je současně charakteristikou řezivosti a řezného prostředí.

Zjednodušený Taylorův vztah:

$$T = C_v \cdot v_c^k \tag{4.1}$$

C_v, k	- konstanty
T	- trvanlivost
v	- řezná rychlost

4.2.2 Kritérium minimálních výrobních nákladů

Obráběcí proces lze posuzovat podle těchto kritérií:

- Kritérium minimálních nákladů
- Kritérium maximální produktivity
- Kritérium maximálního zisku
- Kritérium maximálního úběru

$$VN = N_{cj} + C_{pol} = \min.$$

(4.2)

VN – výrobní náklady jedné součásti

N_{cj} – vlastní náklady na výrobu jedné součásti

C_{pol} – cena polotovaru pro jednu součást

Pro stanovení nákladů N_{cj} vycházíme ze skladby času.

Čas na obrábění jedné součásti

$$N\check{C} = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d} = t_{AsC} + t_{AvC} + t_{A102C} + \frac{t_{BC}}{d} = t_{As} \cdot k_C + t_{Av} \cdot k_C + t_{A102} \cdot k_C + \frac{t_B \cdot k_C}{d}$$

(4.3)

Kde:

$N\check{C}$ - norma času

t_{AC} - jednotkový čas s přírážkou směnového času v min/ks

t_{As} - jednotkový čas strojní v min/ks

t_{Av} - jednotkový čas vedlejší v min/ks

t_{A102} - jednotkový čas na výměnu a znovuseřízení stroje, resp. čas na výměnu VBD v min/ks

t_{AsC} - jednotkový strojní čas s přírážkou směnového času v min/ks

t_{AvC} - jednotkový vedlejší čas s přírážkou směnového času v min/ks

t_{102C} - čas t_{A102} s přírážkou směnového času v min/ks

t_B - dávkový čas v min/ks

t_{BC} - dávkový čas s přírážkou směnového času v min/ks

k_C - přírážka směnového času ($k_C=1,11 - 1,15$)

d - počet kusů v dávce

Vyjádření nákladových položek plynoucích z jednotlivých časových položek vztahu (4.3)

Za čas t_{AsC} plynou náklady N_{sn} obsahující:

- náklady na mzdu pracovníka
- náklady na provoz stroje
- náklady na nástroje
- dílenské režijní náklady

$$N_{sn} = t_{As} \left[k_C \cdot \frac{Tf_o}{60} \left(1 + \frac{R_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] + z_v \cdot N_{nT} = t_{As} \cdot N_{sm} + z_v \cdot N_{nT} \quad (4.4)$$

- N_{sn} - náklady na strojní práci včetně nákladů na nástroj v Kč/ks
 N_{sm} - náklady na strojní práci (práce stroje) v Kč/min
 N_{hs} - hodinové náklady na provoz stroje v Kč/h
 N_{nT} - náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost bříty v Kč/trvanlivost
 Tf_o - mzdový tarif obsluhy v Kč/h
 R_d - dílenské režie v %
 z_v - počet výměn nástroje (otočení VBD)
 - ostatní symboly viz. výše

Režijní náklady jsou vypočítávány zpětně za předchozí období a na další období se výše režijních nákladů předpokládá. Jakékoliv změny v režijních nákladech se projeví i při optimalizaci řezných podmínek.

Dílenská režie se stanoví jako podíl všech nákladových položek dílny k mzdovým nákladům za určité časové období. Při vícestrojové obsluze vzrůstá hodnota dílenské režie díky menšímu počtu dělníků.

Hodinové náklady na provoz stroje N_{hs} lze vyjádřit:

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E \quad (4.5)$$

$$O_s = \frac{C_s}{\check{Z}_s \cdot F_{\check{c}} \cdot s_m \cdot \eta_s} \quad (4.6)$$

- O_s - hodinový odpis stroje v Kč/hod
 \check{Z}_s - životnost stroje v rocích
 $F_{\check{c}}$ - časový fond v hod/rok
 C_s - cena stroje v Kč
 C_E - cena za elektrickou energii (střední hodnota dlouhodobého průměru) v Kč/h
 s_m - směnnost

- k_{us} - koeficient oprav a údržby stroje
 η_s - koeficient časového využití stroje

Koeficient oprav a údržby stroje je dán podílem součtu ceny stroje, předpokládané částky za opravy, resp. údržbu stroje (za dobu životnosti) a ceny stroje.

Počet výměn z_v při obrábění jednoho kusu (nemusí být celé číslo)

$$z_v = \frac{t_{As}}{T} \cdot \tau \quad (4.7)$$

- T - trvanlivost v min.
 τ - poměr skutečného času záběru k celkovému strojnímu času t_{As}
 - ostatní viz. výše

Náklady na nástroje (VBD nepřeostřované), vztažené na jednu trvanlivost N_{nT}

$$N_{nT} = \frac{C_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{C_m}{z_u} \quad (4.8)$$

- C_d - cena 1ks VBD v Kč
 C_m - cena držáku VBD v Kč
 z_d - počet VBD na nástroji (držáku) např. frézování
 z_b - počet břitů na VBD
 z_u - počet opotřebovaných břitů během životnosti držáku
 s_b - součinitel využití VBD
 k_{ut} - koeficient údržby držáku

Koeficient údržby držáku (nástroje) zahrnuje vlastní údržbu nástroje a cenu náhradních dílů (podložky, šroubky, utvářeče třísek apod.). Stanoví se jako podíl sumy předpokládané ceny oprav, všech náhradních dílů za dobu životnosti držáku a ceny držáku.

Součinitel využití VBD zahrnuje vliv poškození břitů (které neřežou) odcházející třískou, křehkým lomem apod. Počet možných výměn VBD je též omezen se zřetelem na poškození držáku v provozních podmínkách.

Za čas t_{A102C} plynou náklady N_{vs} zahrnující:

- Náklady na mzdu seřizovače
- Náklady na provoz stroje
- Dílenské režijní náklady

$$N_{vs} = t_{102} \cdot \left[k_c \cdot \frac{T_{fs}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] \cdot z_v = t_{102} \cdot N_{vsm} \cdot z_v \quad (4.9)$$

- N_{vs} - náklady na výměnu, resp. znovuseřízení opotřeбенého nástroje Kč/ks
 N_{vsm} - náklady na výměnu nebo znovuseřízení opotřeбенého nástroje Kč/min
 T_{fs} - mzdový tarif seřizovače v Kč/h
 t_{102} - čas na výměnu a znovuseřízení nástroje v min
 - ostatní viz. výše

Za čas $\frac{t_{BC}}{d}$ plynou náklady na $\frac{N_d}{d}$ obsahující:

$$\frac{N_d}{d} = t_B \cdot \left[k_c \cdot \frac{T_{fs}'}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] \cdot \frac{1}{d} = t_B \cdot N_{dm} \cdot \frac{1}{d} \quad (4.10)$$

- N_d - náklady na seřízení stroje pro výrobu dané dávky v Kč/dávku
 N_m - náklady na seřízení stroje v Kč/min
 T_{fs}' - mzdový tarif seřizovače v Kč/h
 - ostatní viz. výše

Pokud pracovníci zvládnou seřízení sami.

Pak platí některé rovnosti: $T_{fs} = T_{fs}'$ a dále $N_{dm} = N_{vsm}$

Vlastní náklady na výrobu N_{cj} jsou dány vztahem

$$N_{cj} = N_{sn} + N_v + N_{vs} + \frac{N_d}{d} \quad (4.11)$$

4.2.3 Technická omezení

Při optimalizaci řezných podmínek je nutno brát v úvahu omezující technické podmínky. V úvahu připadají např. výkon stroje, požadovaná kvalita (drsnot) povrchu, přesnost rozměrů a tuhost stroje.

Omezení dané maximálním kroutícím momentem

Na strojích je omezení z hlediska upínací síly stolu (sklíčidla), proto je nutno počítat s maximálním dovoleným kroutícím momentem.

$$M_k \leq M_{kmax} \quad (4.12)$$

- M_k - kroutící moment na vřetenu [Nmm]
 M_{kmax} - maximálně přípustný kroutící moment [Nmm]

Chyba! Objekty nemohou být vytvořeny úpravami kódů polí.

(4.13)

- F_z - tangenciální složka řezné síly [N]
 D - průměr [mm]

Omezení dané požadovanou drsností povrchu

Kola jsou na 1. i 2. operaci obráběna načisto. Je proto nutné brát v úvahu i omezení z hlediska požadované drsnosti.

$$R_a \leq R_{a\max} \quad (4.14)$$

- R_a - je aritmetická úchylka obrobené plochy [μm]
 $R_{a\max}$ - je maximálně přípustná aritmetická úchylka obrobené plochy [μm]

5 Měření trvanlivosti VBD

Trvanlivost jednotlivých VBD jsem zjišťoval na několika strojích. V samotné výrobě je velmi obtížné zajistit stálé podmínky pro měření. Jednotlivé výrobní dávky se liší v tvrdosti materiálu, v rozměrech polotovarů a výroba je plánována na různá obráběcí centra. Tabulka 1 obsahuje některé vybrané materiály kol a jejich tvrdosti podle Brinella.

Tabulka 1 – Rozsahy tvrdostí materiálů

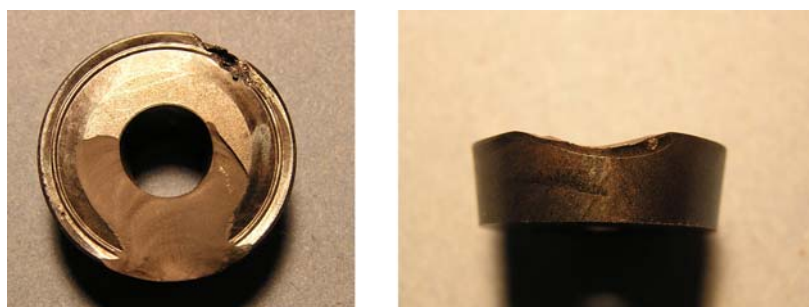
materiál	HB min	HB max
C3N	192	225
R7T	235	280
R8T	245	290
R9T	255	300
Class A	255	321
Class B	302	341
Class C	321	363

Tvrdost materiálu kola se liší i v jeho průřezu. Na desce kola a náboji je přibližně o 50 HB nižší.

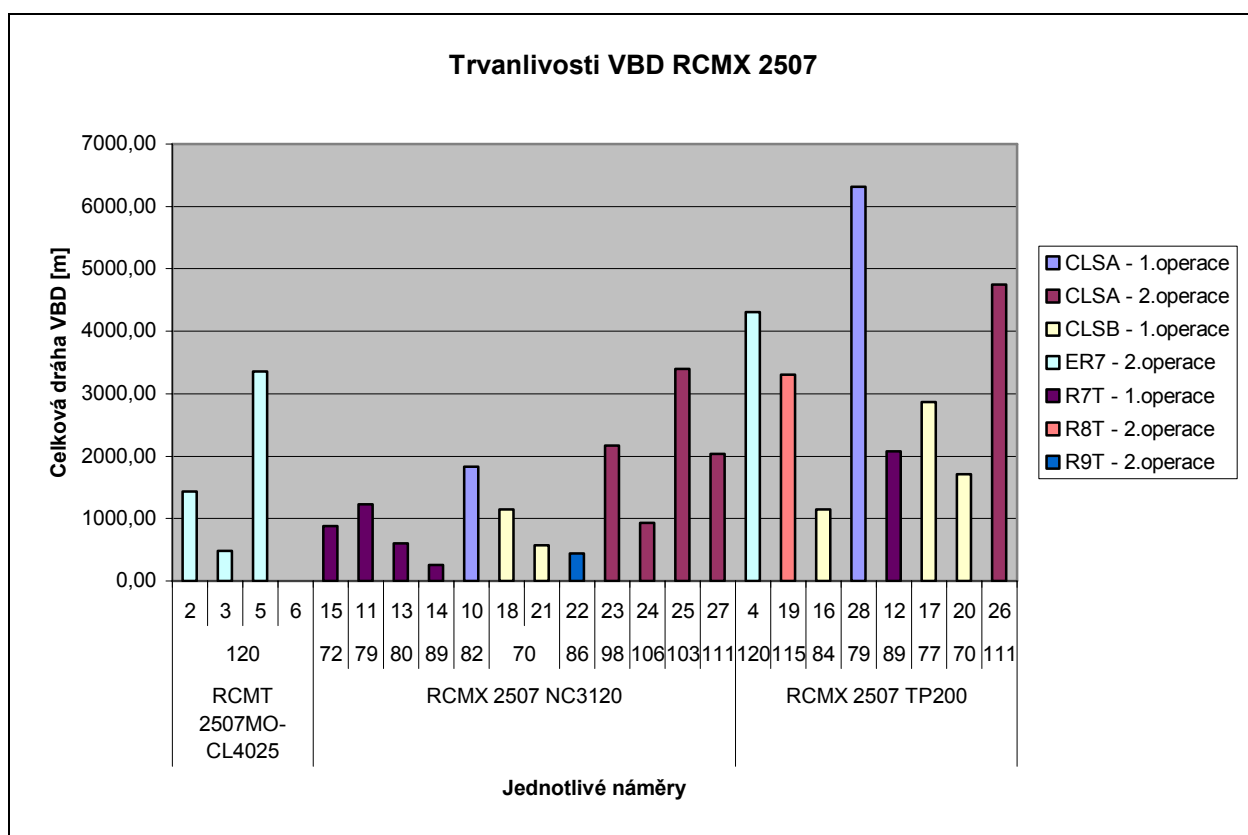
Tabulka 2 – Chemické složení jednotlivých taveb v %

tavba	mat.kola	materiál	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	V
50346_09_T	R7T	R81	0,550	0,75	0,35	0,013	0,004	0,03	0,260	0,003
50994_09_T	R7T	R73	0,490	0,72	0,31	0,014	0,005	0,05	0,240	0,005
51879_09_T	CLSA	R81	0,530	0,73	0,32	0,015	0,007	0,03	0,240	0,007
52770_09_T	CLSB	CLSB	0,650	0,82	0,22	0,014	0,012	0,02	0,190	0,065
53645_09_T	R8T	R81	0,540	0,73	0,30	0,013	0,011	0,04	0,220	0,004
62763_08_U	ER7	R73	0,496	0,68	0,32	0,007	0,001	0,12	0,200	0,004
63442_09_U	ER7	R73	0,501	0,68	0,32	0,008	0,001	0,13	0,210	0,003
63443_09_U	ER7	R73	0,502	0,67	0,34	0,010	0,002	0,12	0,200	0,005
63543_09_U	R7T	R73	0,500	0,66	0,35	0,007	0,005	0,11	0,180	0,003

Dle možností jsem měřil trvanlivost nástrojů a údaje zapsal do tabulky. Získaných údajů není dostatek pro přesný výpočet trvanlivosti, ale je patrné, že trvanlivost VBD značky SECO je vyšší než u VBD značky KORLOY graf 5.1. Během obrábění došlo několikrát i k poškození VBD a jednou i k poškození držáku.



obr. 5.1 - Poškození VBD KORLOY vlivem přetížení



graf 5.1 - Trvanlivost VBD

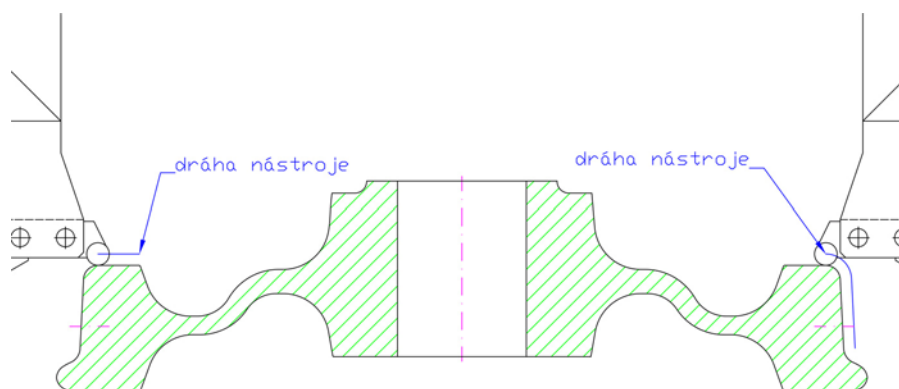
Ve většině případů docházelo u VBD RCMX 2507 NC3120 KORLOY k velmi rychlému opotřebení. Utvářeč třísky se deformuje, na hřbetě nástroje vzniká opotřebení a nástroj klade značný řezný odpor. Již během obrábění druhého kola lze pozorovat změnu kvality povrchu a změnu tvorby třísky.

5.1 Měření

Pro zjištění a porovnání trvanlivosti VBD jsem vybral stroj SKAT9 a SKAT5. Možnosti úpravy řezných podmínek v programu zde byly nejvhodnější.

5.1.1 Měření trvanlivosti nástroje při výrobě kola 903.17 CLSA

Kola jsou obráběna na strojích SKIT na dvě operace. Obrábění každé strany kola je evidováno v systému IFS firmy jako jedna operace, pro kterou je stanovena výkonová norma. Soustruhy mají dva suporty s držáky, které mají čtyři polohy. Pro sledování trvanlivosti VBD jsem zvolil dva nejvíce zatěžované nástroje. Na levé straně obrábění čela věnce a na pravé straně obrábění jízdní plochy.

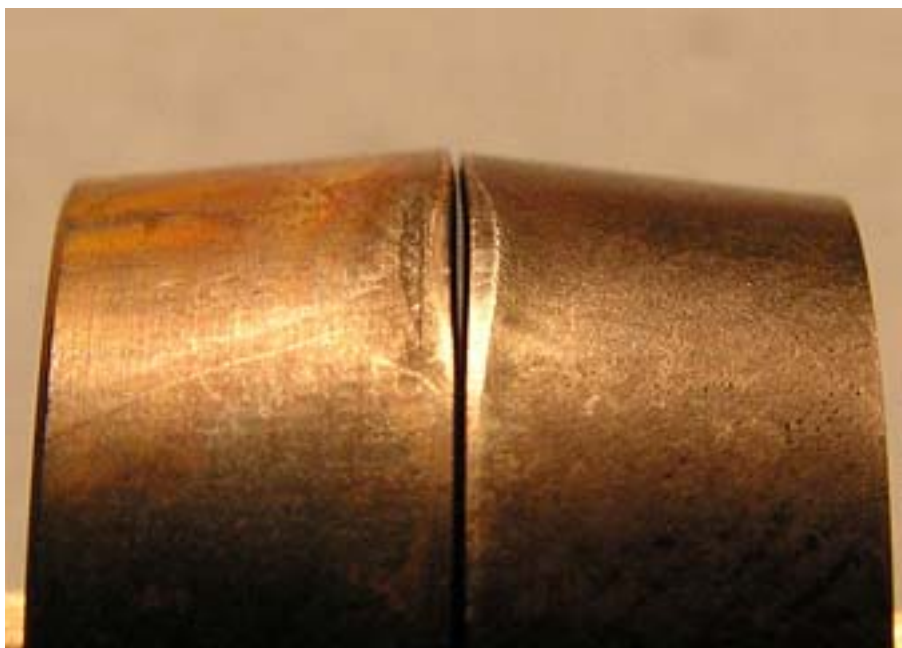


obr. 5.2 - Obrábění kola 903.17 CLSA - 2.operace

Chemické složení materiálu Tabulka 2.

Nejprve jsem sledoval trvanlivost VBD RCMX 2507 NC3120 KORLOY. Původní řezná rychlost byla nastavena na 80 m/min. Materiál CLSA je materiál s nízkou pevností a bylo možné zvýšit řeznou rychlost na 103 m/min. Po opotřebení řezné hrany, což se projevilo zvýšenými vibracemi a zhoršením kvality povrchu, bylo ještě možné řeznou rychlost zvýšit. Vzhledem ke zkušenostem z předchozích měření jsem vyzkoušel VBD RCMX 2507 TP200 při rychlosti 111 m/min Tabulka 3.

Měření nemohlo být zcela dokončeno, protože došlo k poruše třískových dopravníků. VBD TP200 nebyla příliš opotřebena. Ploška VB na hřbetě byla cca 0,1 mm. Pravděpodobně by bylo možné pokračovat v obrábění, protože kvalita povrchu a průběh obrábění byly vyhovující. Na obr. 5.3 je vlevo VBD RCMX 2507 TP200 a vpravo VBD RCMX 2507 KORLOY.



obr. 5.3 - Opotřebení VBD - vlevo SECO, vpravo KORLOY

Tabulka 3 – Výsledky měření trvanlivosti VBD

Stroj:	SKIT 9		
Datum:	11.5.2009		
Operace:	soustružení čela věnce		
Držák:	PRSCR/L (dle fy PRAMET)		
Vyložení držáku:	40 mm		
Chlazení:	bez		
	VBD RCMX 2507		
	NC3120	NC3120	TP 200
řezná rychlost v [m/min]	98	106	106
posuv f [mm/ot.]	1,25	1,25	1,25
počet ks	7	3	7
hloubka záběru a_p [mm]	3	3	3
čas v řezu/ks [min]	6,32	5,88	5,88
celkový čas v řezu [min]	44,24	17,64	41,16

Tabulka 4 - Naměřené trvanlivosti VBD

Stroj:	SKIT 5		
Datum:	11. 5. 2009		
Operace:	soustružení 1/2 profilu kola		
Držák:	PRDCN (dle fy PRAMET)		
Vyložení držáku:	60 mm		
Chlazení:	bez chlazení		
Povrch polotovaru:	výkovek, kuličkováný		
Požadovaná drsnost povrchu:	Ra 12.5		
	VBD RCMX 2507		
	NC3120	NC3120	TP 200
řezná rychlost v [m/min]	103	111	111
posuv f [mm/ot.]	1,25	1,25	1,25
počet ks	5	3	7
hloubka záběru a_p [mm]	2,5	2,5	2,5
čas v řezu/ks [min]	6,6	6,16	6,16
celkový čas v řezu [min]	33	18,48	43,12

5.1.2 Měření trvanlivosti při výrobě kola 904.29 CLSB

Průběh měření byl obdobný jako u výroby kola 903.17 CLSA. Materiál CLSB je daleko méně obrobitelný než CLSA. Chemické složení Tabulka 2 a tvrdosti dle Brinella Tabulka 1. Řezné rychlosti byly nastaveny tak, aby se zkrátila životnost VBD.

Tabulka 5 - Výsledky měření

Stroj:	SKIT 9			
Datum:	6. 5. - 9. 5. 2009			
Operace:	soustružení okolku a čela věnce			
Držák:	PRSCR/L (dle fy PRAMET)			
Vyložení držáku:	40 mm			
Chlazení:	bez chlazení			
Povrch polotovaru:	výkovek, kuličkováný			
Požadovaná drsnost povrchu:	Ra 12,5			
	VBD RCMX 2507			
	NC3120	TP 200	TP 200	TP 200
řezná rychlost v [m/min]	70	70	77	84
posuv f [mm/ot.]	1,3	1,3	1,3	1,3
počet kol	1	3	5	2
hloubka záběru a_p [mm]	4	4	4	4
čas v řezu/kolo [min]	8,12	8,12	7,43	6,81
celkový čas v řezu [min]	8,12	24,36	37,15	13,62

Skutečná spotřeba VBD KORLOY při obrábění kola 904.29 CLSB je 21-22 ks za směnu 11,5h při řezné rychlosti 70 m/min. Řeznou rychlost u VBD KORLOY nebylo možné dále zvyšovat. Neúměrně se zvyšuje riziko poškození VBD, držáku nebo obrobku. Během tohoto měření došlo k poškození VBD obr. 5.1.

Tabulka 6 - Spotřeba VBD za směnu 11,5h - výrobek 904.29CLSB

ks/11,5h	19		počet kol/břit		počet VBD/směnu	
umístění	operace	počet břitů	TP200	NC3120	TP200	NC3120
L1	okolek, čelo věnce	3	3	1	3	7
L4	Vnitřní průměr, 2x náboj, 1x deska	2	4	2	3	3
P1	Profil kola	3	3	1	3	7
P4	1x náboj+deska	2	4	2	3	3
Spotřeba VBD celkem					12	20

5.2 Optimalizace řezných podmínek pro VBD SECO RCMX 2507 TP200

Pro optimalizaci řezných podmínek jsem zvolil kritérium výrobních nákladů add. 4.2.2. Obrábění kola je prováděno na několik operací. S ohledem na náročnost jsem zvolil optimalizaci řezných podmínek pouze pro operaci hrubování okolku a obrábění čela věnce na dvě třísky. Tyto operace jsou prováděny jedním nástrojem při stejné řezné rychlosti a přibližně stejných posuvech.

Základní údaje:

Výrobek:	Železniční kolo pr.914,4 mm tvar 904.29 materiál CLSA
Cena polotovaru:	16000 Kč/ks
Mzdové náklady:	150,7 Kč/h
Celkové náklady stroje	873,- Kč/h
Fixní náklady (režie)	20 %
Náklady na VBD RCMX2507 TP200 SECO	356,- Kč/ks
Počet břitů nástroje (lze 1x pootočit)	2
Výrobní dávka	200 ks

Tabulka 7 - Naměřená data

ot./min	v [m/min]	T [min]	kola [ks]	čas v řezu t_{As} [min]	log v	log T
32,6	89,00	12,58	2	6,29	1,949390	1,099681
28,2	79,13	36,35	5	7,27	1,898341	1,560504

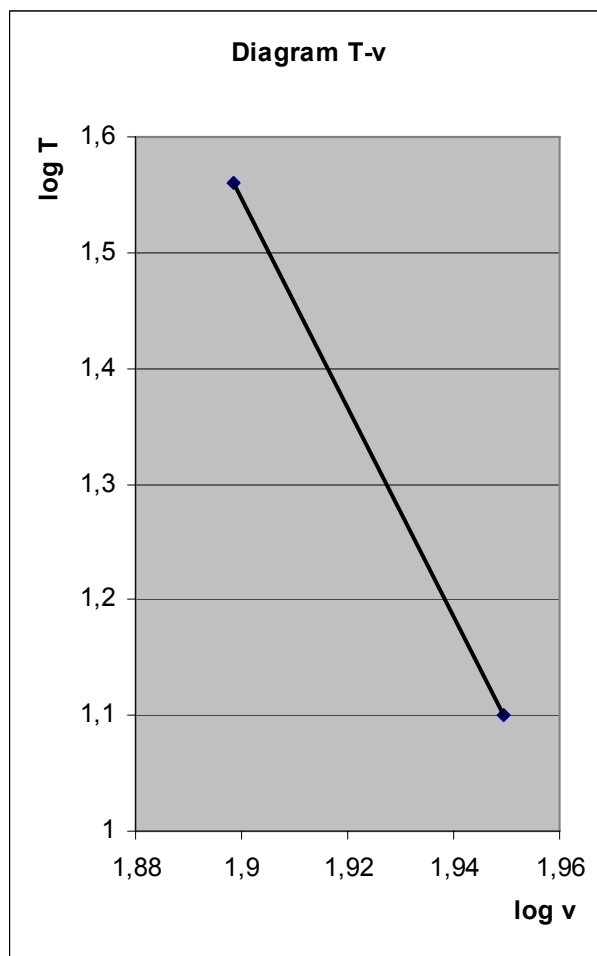
Pro výpočet trvanlivosti nástroje jsem použil Taylorův vztah:

$$C = v_c^k \cdot T$$

$$v_1^k \cdot T_1 = v_2^k \cdot T_2$$

$$k = \frac{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{v_1}{v_2}\right)} = \frac{\log\left(\frac{36,35}{12,58}\right)}{\log\left(\frac{89}{79,13}\right)} = \underline{\underline{9,03}}$$

$$C = 89^{9,03} \cdot 12,58 = \underline{\underline{5,0428 \cdot 10^{18}}}$$

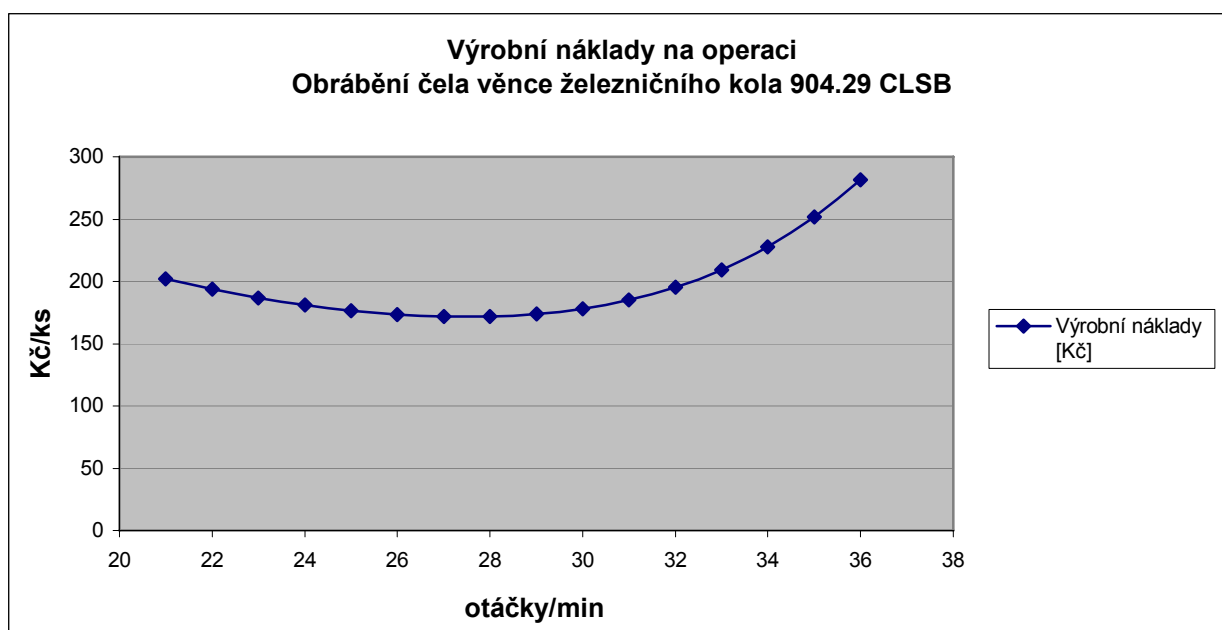


graf 5.2 T-v diagram

Pomocí získaných koeficientů z Taylorova vztahu jsem dopočítal trvanlivost nástrojů při různých řezných rychlostech a výsledné náklady na výrobu.

Tabulka 8 - Přepočet trvanlivosti

[ot./min]	v [m/min]	čas v řezu [min]	T [min]	ks/řeznou hranu	náklady VBD/ks [Kč]	náklady/ks [Kč]	Výrobní náklady [Kč]
21	60,7	9,76	398,81	81,7	2	200	202
22	63,6	9,32	262,02	56,2	3	191	194
23	66,5	8,91	175,39	39,4	5	182	187
24	69,4	8,54	119,43	28,0	6	175	181
25	72,3	8,20	82,61	20,1	9	168	177
26	75,1	7,88	57,97	14,7	12	161	173
27	78,0	7,59	41,23	10,9	16	155	172
28	80,9	7,32	29,69	8,1	22	150	172
29	83,8	7,07	21,62	6,1	29	145	174
30	86,7	6,83	15,92	4,7	38	140	178
31	89,6	6,61	11,84	3,6	50	135	185
32	92,5	6,41	8,89	2,8	64	131	195
33	95,4	6,21	6,73	2,2	82	127	209
34	98,3	6,03	5,14	1,7	104	123	228
35	101,2	5,86	3,96	1,4	132	120	252



graf 5.3 - Výrobní náklady

Z tabulky a grafu vyplývá, že je možné zvýšit řeznou rychlost na $27 \div 28$ ot./min. Z výsledků předpokládám, že je možné tyto parametry použít i pro druhý nástroj, který současně provádí obrábění profilu. Pomocí simulace obrábění jsem zjistil celkový čas obrábění při původních 25 ot./min a následně nastavil 27 ot./min. pouze pro operace na stejném průměru kola. Výsledný celkový čas je kratší o 1,23 min.

5.2.1 Výpočet výkonové normy

Změna parametrů obrábění ovlivní výkonovou normu.

Celkový čas směny	$T = 690 \text{ min}$
Koeficient přírážky směnového času	$t_c = 1,05$
Přirážka na nepravidelné činnosti	$T_{AX} = 5\%$
Čas obrábění	$t_{as} = 32,95 \text{ min}$
Výměna a kontrolní měření	$t_{av} = 3,5 \text{ min}$

$$t = (t_{as} + t_{av}) \cdot T_{AX} \cdot t_c = (32,95 + 3,5) \cdot 1,05 \cdot 1,05 = \underline{\underline{40,19 \text{ min/ks}}}$$

$$\text{směnová výrobnost} = \frac{T}{t} = \frac{690}{40,19} = \underline{\underline{17,17 \text{ ks}}}$$

Původní produktivita byla 16,61 ks/11,5 h. Změnou řezné rychlosti by bylo možné zvýšit produktivitu práce o 3,4 %. Na první pohled je to zanedbatelné, ale je potřeba brát v úvahu, že nedošlo ke změně řezné rychlosti pro všechny operace obrábění kola.

5.3 Optimalizace strojních nákladů pro výrobek 904.29 CLSB

VBD RCMX 2507 NC3120 KORLOY

Cena/ks: 356 Kč

VBD RCMX 2507 TP200 SECO

Cena/ks: 367 Kč

5.3.1 Výpočet nákladů (KORLOY)

Při výrobě kola 904.29 CLSB byla zjištěna skutečná spotřeba 21-22 ks během 3 výrobních směn.

Výrobek:	Železniční kolo pr.914,4 mm tvar 904.29 materiál CLSA
Cena polotovaru:	$C_{pol} = 16000 \text{ Kč/ks}$
Mzdové náklady:	$T_{fo} = 150,7 \text{ Kč/h}$
Hodinové náklady na provoz stroje	$N_{hs} = 873,- \text{ Kč/h}$
Fixní náklady (režie)	$R_d = 20\%$
VBD RCMX 2507 NC3120 zn.KORLOY	356,- Kč/ks
Spotřeba VBD na směnu Tabulka 6	21ks

Počet výměn nástroje /ks	$z_v = 2,84$
Náklady na jednu trvanlivost VBD (bez nákladů na držák)	$N_{nT} = 138,44 \text{ Kč}$
Čas potřebný na výměnu nástroje	0,75 min
Směnová výrobnost	19ks/11,5h
Výrobní dávka	$d = 200 \text{ ks}$
Seřizování na novou zakázku	$T_B = 120 \text{ min}$
Strojní čas	$t_{As} = 29,43 \text{ min}$
Přirážka směnového času	$k_C = 1,11$

$$\text{Počet výrobních směn} = \frac{\text{výrobní dávka}}{\text{směnová výrobnost}} = \frac{200}{19} = 10,57$$

Po dosazení do vzorce (4.4) dostaneme náklady na strojní práci.

$$N_{sn} = 29,43 \cdot \left[1,11 \cdot \frac{150,7}{60} \cdot \left(1 + \frac{20}{100} \right) + \frac{873}{60} \right] + 2,84 \cdot 138,44 = \underline{\underline{920,14 \text{ Kč/ks}}}$$

Celkové náklady na strojní práci na dávku 200 ks pak činí 184028,-Kč.

5.3.2 Výpočet nákladů (SECO)

Výrobek:	Železniční kolo pr.914,4 mm tvar 904.29 materiál CLSA
Cena polotovaru:	$C_{pol} = 16000 \text{ Kč/ks}$
Mzdové náklady:	$T_{fo} = 150,7 \text{ Kč/h}$
Hodinové náklady na provoz stroje	$N_{hs} = 873,- \text{ Kč/h}$
Fixní náklady (režie)	$R_d = 20 \%$
VBD RCMX 2507 NC3120 zn.SECO	367,5 Kč/ks
Spotřeba VBD na směnu Tabulka 6	12 ks
Počet výměn nástroje/směnu	30
Počet výměn nástroje /ks	$z_v = 1,58$
Náklady na jednu trvanlivost VBD (bez nákladů na držák)	$N_{nT} = 147,- \text{ Kč}$
Čas potřebný na výměnu nástroje	0,75 min
Směnová výrobnost	19 ks/11,5 h
Výrobní dávka	$d = 200 \text{ ks}$
Seřizování na novou zakázku	$T_B = 120 \text{ min}$
Strojní čas	$t_{As} = 29,43 \text{ min}$
Přirážka směnového času	$k_C = 1,11$

$$\text{Počet výrobních směn} = \frac{\text{výrobní dávka}}{\text{směnová výrobnost}} = \frac{200}{19} = 10,57$$

Po dosazení do vzorce (4.4) dostaneme náklady na strojní práci.

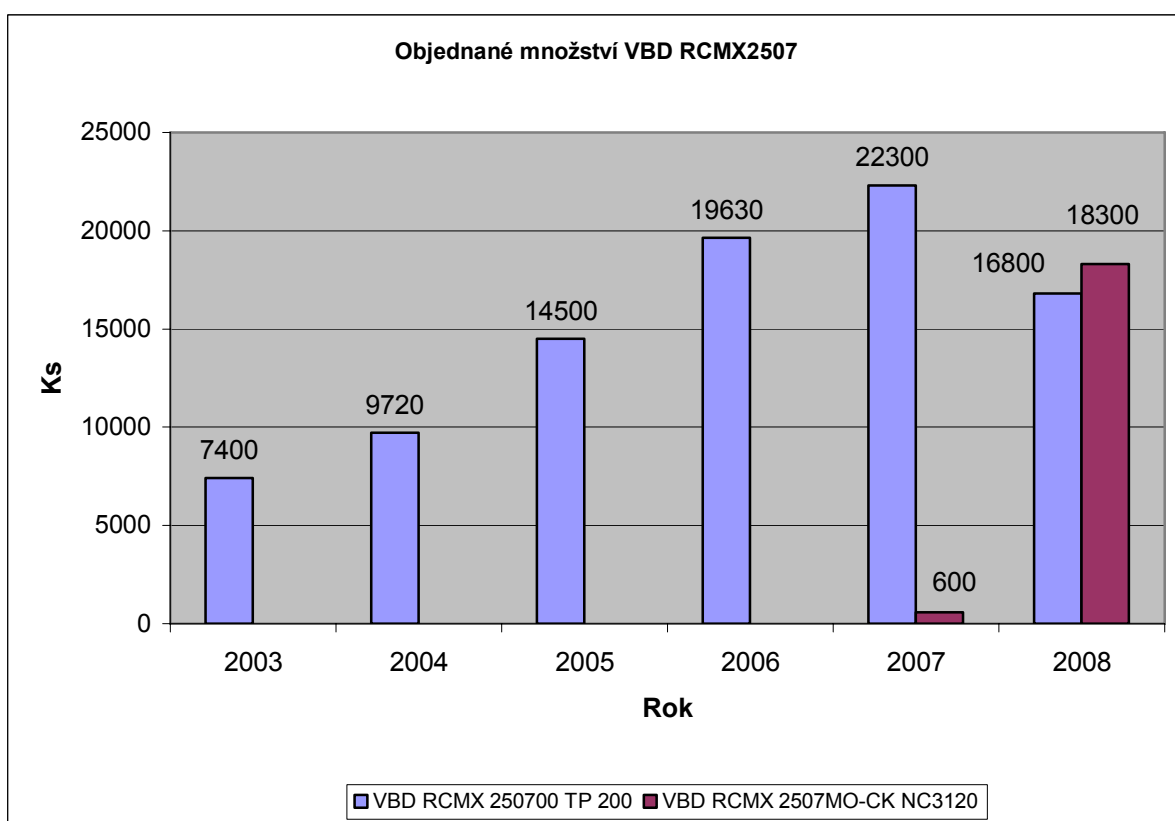
$$N_{sn} = 29,43 \cdot \left[1,11 \cdot \frac{150,7}{60} \cdot \left(1 + \frac{20}{100} \right) + \frac{873}{60} \right] + 1,58 \cdot 147 = \underline{\underline{758,8 \text{ Kč/ks}}}$$

Celkové náklady na strojní práci na dávku 200 ks pak činí 151691,-Kč.

Za předpokladu, že dojde pouze k běžnému opotřebení obráběním, je rozdíl v nákladech na strojní čas mezi VBD KORLOY a SECO $184028 \text{ Kč} - 151754 \text{ Kč} = \mathbf{32274 \text{ Kč} / 200 \text{ ks}}$

5.4 Kalkulace nákladů na nákup VBD RCMX 2507

Nákup VBD RCMX 2507MO-CK NC3120 KORLOY významně narostl v roce 2008 a nákup VBD RCMX 2505 TP200 poklesl graf 5.4. Objem výroby kol v roce 2008 byl vyšší proti roku 2007 o 8,9 %.



graf 5.4 - Nákup VBD

VBD RCMX250700 TP200 SECO

V roce 2008 bylo objednáno	16800 ks
Průměrná skladová cena	367,5 Kč/ks
Celková cena	6 174 000 Kč

VBD RCMX2507MO-CK NC3120 KORLOY

V roce 2008 bylo objednáno	18300 ks
Průměrná skladová cena	356 Kč/ks
Celková cena	6 514 800 Kč

Celkové náklady na nákup těchto dvou položek činí	12 853 500 Kč
V případě nákupu jen VBD SECO by bylo nakoupeno	34975 Ks
V přepočtu na jeden měsíc	2914 ks

Za předpokladu dvojnásobné trvanlivosti VBD SECO proti VBD KORLOY, mohlo být objednáno v roce 2008 celkem 25950 ks VBD SECO.

Celkové náklady pak činí 9 536 625 Kč.

Ztráta 3 316 875 Kč.

Během zjišťování trvanlivosti VBD nenastal případ, kdy by VBD KORLOY měly delší trvanlivost než VBD SECO.

Pro obrábění kol se používá v malém množství ještě asi 5 druhů VBD. Některé z nich mají podle obsluh strojů vyhovující trvanlivost, ale ty nebylo možné v krátkém časovém úseku vyzkoušet.

5.5 Návrh řešení

Doporučuji, aby optimalizace řezných podmínek a zjišťování trvanlivosti nástrojů bylo zajišťováno příslušným technickým úsekem ve spolupráci s nákupním oddělením, protože samotné nákupní oddělení nemá dostatek podkladů pro správnou volbu nástrojů. Pro evidenci zkoušek nástrojů navrhuji vytvořit databázi, která bude přístupná vedení výroby, technickému úseku i nákupnímu oddělení. Správcem databáze a zodpovědnou osobou za správnost údajů by měl být technický úsek. Spotřeba nástrojů by měla být evidována výrobou tak, aby bylo možné zjistit množství spotřebovaných nástrojů podle stroje a obráběného materiálu.

6 Diskuse

6.1 Omezující podmínky optimalizace řezných parametrů

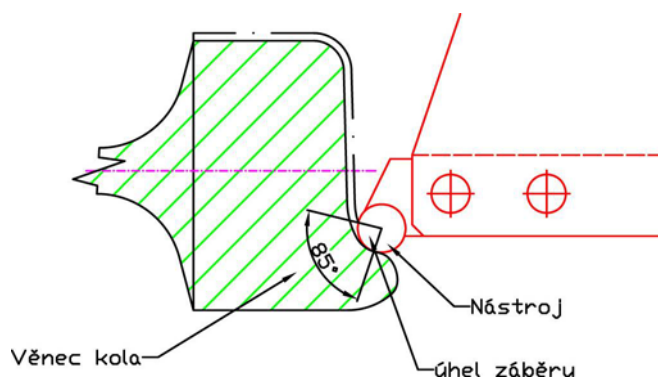
Během prováděných měření jsem sledoval i další omezující podmínky optimalizace řezných parametrů.

Nejčastěji zde patří:

- požadovaná drsnost povrchu
- tolerance rozměrů
- technický stav stroje
- tvorba třísky

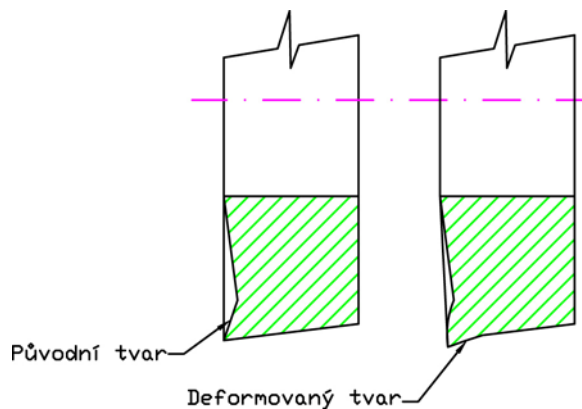
6.1.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je dána hlavně posuvem při obrábění. Ve většině případů je požadovaný povrch na desce kola $Ra\ 12,5\ \mu m$ u projektových kol s mezikružím je zpravidla $Ra\ 6,3\ \mu m$. Profil kola má požadovaný povrch stejně jako deska převážně $Ra\ 12,5\ \mu m$ a v menším množství $Ra\ 6,3\ \mu m$. Při hrubování a soustružení načisto jsou používány posuvy $1,4 - 1,6\ mm/otáčku$. Při obrábění tvarových ploch je potřeba posuvy přizpůsobit obráběnému poloměru. Ve vnitřních rádiusech např. pod okolkem je potřeba snížit posuv až na $0,6\ mm/otáčku$, protože nástroj přibírá více materiálu a narůstá neúměrně řezná síla obr. 6.1. Naopak na vnějším rádiusu okolku je nutné snížit posuv pro dodržení drsnosti.



obr. 6.1 - Obrábění pod okolkem

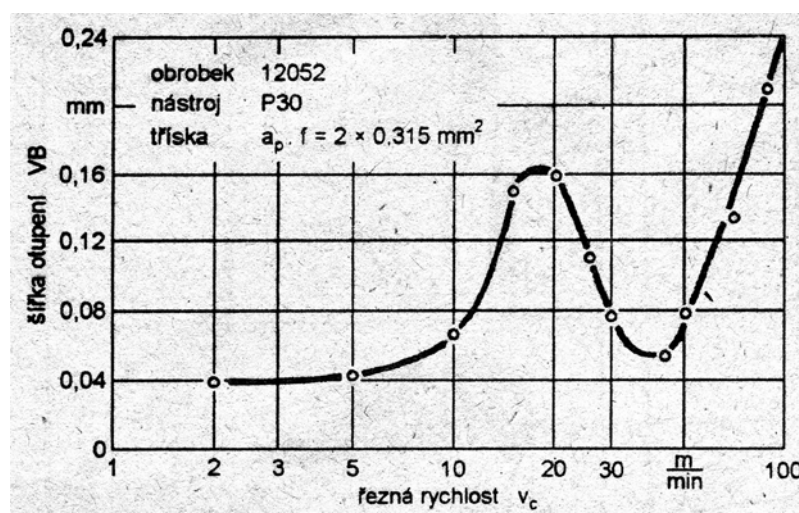
Při obrábění vzniká na hřbetě VBD ploška a utvářeč třísky se deformuje. Změnu tvaru utvářeče lze pozorovat hlavně u VBD KORLOY. Nástroj se stává více negativní obr. 6.2. Po deformaci se začíná vytvářet dlouhá tříska a povrch kola se zhoršuje. Nejpatrnější je změna povrchu na vnějších rádiusech náboje kola nebo na okolku.



obr. 6.2 - Změna tvaru ostří a lamače třísky

6.1.2 Tolerance rozměrů

Změna tvaru VBD je nejčastěji způsobena běžným opotřebením během obrábění, ale i přetížením. K výraznému snížení trvanlivosti dochází i při nízkých otáčkách.



obr. 6.3 - Graf závislosti otupení na řezné rychlosti¹

Toto lze zjistit pouze dostatečným počtem měření během testování trvanlivosti VBD. K tomuto jevu došlo pravděpodobně i při obrábění kola 904.29 CLSB, kdy jsem naměřil trvanlivost VBD TP200 při řezné rychlosti 77 m/min vyšší než při řezné rychlosti 70 m/min Tabulka 5 - Výsledky měření.

¹ MRKVICA, M. *Obrábění I. 1.díl Obrábění nástrojů s geometricky definovaným břitem*. 1.vyd. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 1993. 202s. ISBN 80-7078-213-7.

6.1.3 *Technický stav stroje*

Technický stav stroje ovlivňuje nejen kvalitu výrobku, ale i produktivitu práce. Často jsou upraveny parametry obrábění, popř. počet odebíraných třísek tak, aby bylo dosaženo požadované kvality. Během měření docházelo na některých strojích k poškození VBD ze spodní části. To je pravděpodobně způsobeno nedostatečným připevněním VBD v držáku. Některé držáky nejsou v dobrém technickém stavu a připevněné VBD se během obrábění uvolňují. Pokud dojde k poškození VBD ze spodní strany, může se trhlina šířit a dojde ke zlomení plátku. Po uvolnění VBD není dobře odváděno ani teplo, které vzniká při obrábění. Plátek se více přehřívá a může dojít k jeho prasknutí. Obsluha nedokáže drobné trhliny zjistit bez vyjmutí z držáku. Včasná výměna poškozených podložek a držáku může zabránit zbytečným ekonomickým ztrátám. Nejčastěji se poškození ze spodní strany projevilo u VBD RCMT 2507MO-CL4025 dodavatel CLARKSON,s.r.o. obr. 6.4. V tomto směru se VBD SECO projevují dobře, nepraskají protože jsou houževnaté. Vyzkoušel jsem tento plátek na stejném držáku a podložce jako RCMT 2507MO-CL4025 a nedošlo k jeho poškození.



obr. 6.4 - vlevo RCMT 2507MO-CL4025, vpravo RCMX 2507 TP200

6.1.4 Tvorba třísek

Mezi důležitá kritéria patří i tvorba třísek při obrábění. Lze ji ovlivnit nastavením posuvu a otáček, ale hlavním faktorem je obráběný materiál. Nejčastěji se vytvářejí dlouhé šroubovitě třísky při obrábění materiálů s nižší tvrdostí jako je CLSA a R7T. Deformace břitu obr. 6.2 také významně podporuje tvorbu nevhodných třísek. Třískové dopravníky zabudované v podlaze haly odvádějí třísky do drtiče. Jsou-li však třísky příliš dlouhé, dochází k ucpání dopravníku a následně se zastaví všechny stroje. Ztrátové náklady při 16 strojích a 14 pracovnících jsou minimálně 350 Kč/minutu, pokud nepočítáme ušlý zisk.



obr. 6.5 - Ucpaný dopravník mezi SKIT 9 a SKIT 5

6.2 Úspory nákladů

6.2.1 Náklady na nákup nástrojů

Z výpočtu nákladů na nástroje vyplývá, že lze ušetřit nemalé prostředky nákupem VBD RCMX2507 TP200. Tyto VBD se používají ve firmě minimálně od roku 2003. Konkurenční boj dodavatelů je silný a při výběru a zkoušení nových nástrojů je potřeba velice dobře změřit jejich trvanlivost. Nelze se spoléhat pouze na informace výrobců, protože je mnoho různých aplikací VBD. Dosavadní měření trvanlivosti je postaveno pouze na množství vyrobených kol na 1ks VBD. Tato metoda je však zavádějící. Během měření jsem zjistil, že trvanlivost nástroje je nutné posuzovat při stejných parametrech obrábění. V praxi je velice obtížné získat porovnatelné výsledky v různém časovém období, protože parametry obrábění jednotlivých výrobních dávek se liší. Každá tavba může mít jinou tvrdost materiálu a každá série polotovarů může mít jiné rozměry. Míru opotřebení je potřeba přesně stanovit změřením šířky otupení hřbetu otěrem (VB) v daném intervalu. Pouze údaje získané měřením na základě stejných parametrů by měly být podkladem pro porovnávání trvanlivosti VBD.

6.2.2 Náklady na výrobu

Optimalizace řezných podmínek je nutná pro minimalizaci nákladů. Domnívám se, že úspory však nebudou příliš významné Tabulka 8. Značných úspor lze dosáhnout podstatně dříve optimalizací technologie výroby (programu stroje). Zkrácením nájezdů nástrojů, čekání na dokončení operace druhého nástroje apod. Toto však vyžaduje úzkou spolupráci obsluhy, seřizovače a technologa.

V této práci jsem se zaměřil hlavně na porovnání trvanlivosti dvou typů VBD za stejných podmínek. Ve výpočtech není počítáno s dalšími možnými úsporami a přínosy optimalizace řezných podmínek. Spolehlivost nástrojů přináší i další úspory v nákladech na nákup držáků VBD a snížení zmetkovitosti. Zvýšení řezných rychlostí přináší zkrácení výrobního času a tím i vyšší zisk.

7 Závěr

- Z provedených měření lze jednoznačně prohlásit, že VBD RCMX2507MO-CK NC3120 zn. KORLOY má menší trvanlivost než VBD RCMX2507 TP200 zn. SECO. Toto tvrzení platí pro všechny materiály používané k výrobě železničních kol v BONATRANS GROUP a.s. a všechny způsoby použití.
- Zjištěná trvanlivost VBD SECO u materiálu CLSB je 2× vyšší než u VBD KORLOY a lze použít vyšší řezné rychlosti a vyšší zatížení nástroje
- Optimální řezná rychlost na věnci kola z materiálu CLSB při použití VBD SECO a minimálních výrobních nákladech je $80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Primárně nastavené řezné podmínky v NC programech se významně neliší od optimálních řezných podmínek
- Náklady na nákup VBD RCMX2507 v roce 2009 lze při zachování objemu výroby snížit minimálně o 3 316 875 Kč
- Současný způsob výběru nástrojů není objektivní a nezohledňuje kritérium optimálních výrobních nákladů

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Josefu Novákovi, CSc. z katedry mechanické technologie VŠB-TU Ostrava za inspiraci k řešení práce, p. Jiřímu Karasovi obráběči na centrech SKIT za pomoc při měření trvanlivosti nástrojů a firmě BONATRANS GROUP a.s. za nástroje.

LITERATURA:

Organizace a řízení [online]. Ostrava, FS Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008-. [cit.2009-5-14]. Dostupný z WWW: <<http://fs.vsb.cz/euprojekty/414/organizace-a-řízení.pdf>>.

MÁDL, J. a kol. *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*. Praha, České vysoké učení technické, 1985. 171s.

MRKVICA, M. *Obrábění I. 1.díl Obrábění nástroji s geometricky definovaným břitem*. 1.vyd. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 1993. 202s. ISBN 80-7078-213-7.

BONATRANS GROUP a.s. [online]. 2008- [cit. 10.března 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.bonatrans.cz/>>.

PRAMET, Soustružení 2009 [online]. 2008- [cit. 10.března 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.pramet.com/>>.

TOS HULÍN, [online]. 2009 - [cit. 10.března 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.toshulin.cz/program.asp?l=cz/>>.

MAG HESSAPP, [online]. 2008 - [cit. 10.března 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.hessapp.com/>>.

JURKO, J. a kol. *Top trendy v obrábění II.část-Nástrojové materiály*. Žilina, MEDIA/ST,s.r.o., 2006. 200s. ISBN 80-968954-2-7.

A

B

C

D

E

F

A

B

C

D

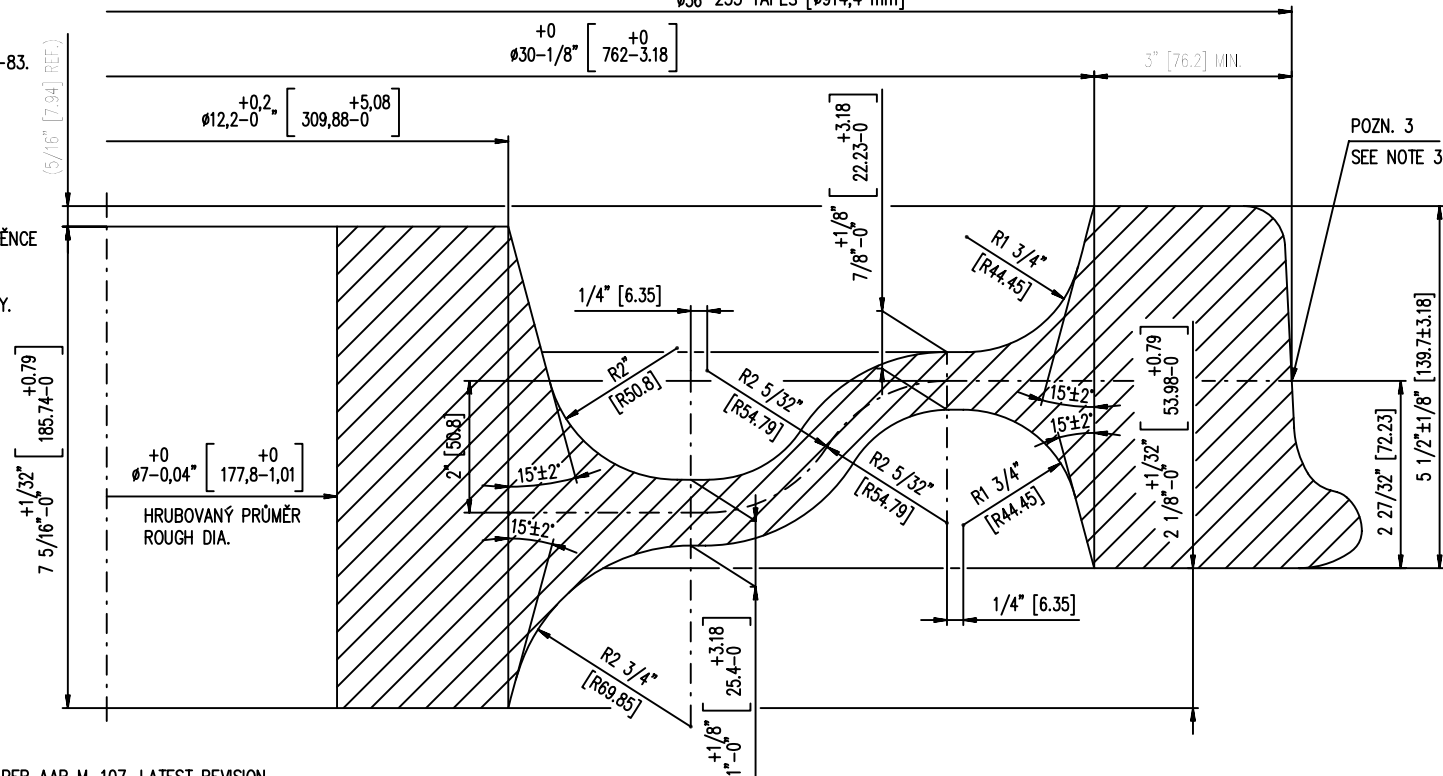
E

F

1. KOLA BUDOU Z TVÁŘENÉ UHLÍKOVÉ OCELI TŘÍDY "B" DLE AAR M-107, POSLEDNÍ REVIZE.
2. KONSTRUKCE OVĚŘENA VÝPOČTEM MKP DLE AAR S-660-83.
3. JÍZDNÍ PROFIL UPRAVENÝ Z AAR-1B NARROW FLANGE CONTOUR PRO LOKOMOTIVNÍ KOLA DLE AAR M-107 FIG. 12 S ÚKOSEM 1:40.
4. ZNAČENÍ ZA STUĐENA DLE AAR M-107, REVIZE 1998, OBR. 5, STR. G-21. ZNAČENÍ PROVEDENO NA VNĚJŠÍM ČELE NÁBOJE.
5. MAXIMÁLNÍ NEVYVÁŽENOST KOL 1.5 LIBRY [0,68 kg] NA VNĚJŠÍM PRŮMĚRU KOLA tj. 311gm. NA VNITŘNÍM ČELE VĚNCE V MÍSTĚ SKUTEČNÉ NEVYVÁHY BUDE ZNAČKA NEVYVÁHY.
6. KOLA BUDOU VYRÁBĚNA A KONTROLOVÁNA DLE AAR M-107 A AAR PŘÍRUČKY PRO KOLA A NÁPRAVY.
7. KOLO NENÍ NATŘENO, ALE JE POUŽIT ANTIKOROZNÍ OLEJ.
8. DRSNOST POVRCHU JÍZDNÍHO PROFILU, ČEL VĚNCE A NÁBOJE PŘED KONEČNÝM KULÍČKOVÁNÍM BUDE MENŠÍ NEŽ 350 MIKROPALCŮ [Ra=6,3 μm]. DRSNOST POVRCHU DESKY PŘED KONEČNÝM KULÍČKOVÁNÍM BUDE MENŠÍ NEŽ 500 MIKROPALCŮ [Ra=12,5 μm]. PRŮMĚRNÁ DRSNOST POVRCHU DÍRY NA ČISTO JE 125 MIKROPALCŮ [MAX. Ra=3,2 μm].
9. PO OBROBENÍ BUDE PLOCHA DESKY KOLA KULÍČKOVÁNA DLE AAR M-107 REVIZE 1998.
10. KOLA BUDOU TESTOVÁNA ULTRAZVUKEM A MAGNETICKY PO OBROBENÍ DLE AAR M-107, REVIZE 1998.
11. KOLA NA JEDNOM DVOJKOLÍ BUDOU MÍT STEJNOU HODNOTU PRŮMĚRU KOLA V "TAPE" MAXIMÁLNÍ ROZDÍL PRŮMĚRU KOL NA DVOJKOLÍ JE 0,5 "TAPE".
12. VŠECHNY ROZMĚRY JSOU V PALCÍCH A V EVROPSKÉ METRICKÉ SOUSTAVĚ [mm].

1. WHEELS SHALL BE WROUGHT CARBON STEEL, CLASS "B" PER AAR M-107, LATEST REVISION.
2. DESIGN MADE BY FEA PER AAR S-660-83.
3. FLANGE AND TREAD IN ACCORDANCE WITH AAR-1B NARROW FLANGE CONTOUR FOR LOCOMOTIVE WHEELS PER AAR M-107 FIGURE 12 WITH MODIFICATED 1:40 INCLINE.
4. COLD STAMPING PER AAR M-107, REVISED 1998, FIGURE 5, PAGE G-21. STAMPING SHALL BE MADE ON THE FRONT FACE OF HUB.
5. WHEELS SHALL BE DYNAMICALLY BALANCED TO WITHIN 1.5 POUNDS [0,68 kg] AT OUTER DIA. OF RIM. WHEELS SHALL BE STENCILED ON THE BACK RIM FACE WITH UNBALANCE MARK WHERE BALANCED MASS EXISTS.
6. WHEELS SHALL BE MANUFACTURED AND INSPECTED PER AAR M-107, AND AAR WHEEL AND AXLE MANUAL.
7. WHEEL IS NOT BE PAINTED, APPLY COATING OF RUST BAN OIL.
8. SURFACE ROUGHNESS OF TREAD PROFILE, RIM AND HUB FACES PRIOR TO FINAL SHOT PEENING SHALL BE LESS THAN 350 MICROINCHES [Ra=6,3 μm]. SURFACE ROUGHNESS OF PLATE AREA PRIOR TO FINAL SHOT PEENING SHALL BE LESS THAN 500 MICROINCHES [Ra=12,5 μm]. SURFACE AVERAGE ROUGHNESS OF FINISH DIA. IS 125 MICROINCHES [MAX. Ra=3,2 μm].
9. WHEEL PLATE AREA SHALL BE SHOT PEENED IN ACCORDANCE WITH AAR M-107 REVISED 1998, AFTER MACHINING.
10. WHEEL SHALL BE ULTRASONICALLY TESTED AND MAGNETIC PARTICLE INSPECTED AFTER MACHINING IN ACCORDANCE WITH AAR M-107, REVISED 1998.
11. WHEELS MOUNTED ON SAME AXLE SHALL BE OF SAME TAPE NUMBER, AND SHALL NO VARY IN CIRCUMFERENCE MORE THAN 0.5 TAPE.
12. ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES AND IN EUROPEAN METRIC STANDARDS [mm].

242 TAPES [Ø924,4 mm]
Ø36" 233 TAPES [Ø914,4 mm]



VEŠKERÁ PRÁVA VYHRAZENA. TENTO VÝKRES NESMÍ BÝT ROZŠÍŘOVÁN BEZ PŘEDCHOZÍHO SOUHLASU BONATRANS a.s. BOHUMÍN.					
ALL RIGHTS RESERVED. THIS DRAWING SHALL NOT BE REPRODUCED WITHOUT THE PRIOR PERMISSION OF BONATRANS a.s. BOHUMÍN.					
		e)			Material
		d)			CLASS B
		c)			Nominal weight
		b)			953 lbs 432 kg
		a)			
Scale 1:2	Revision	Date	Index	Signature	Title
		Drawing		ING. GRÝCMON	CELISTVÉ KOLO 36" SOLID WHEEL 36"
		Date		27.2.2008	
		Checked			
Assembly No.		Technologist			Type
		Standardization			Branch A.A.R.
		Approval		ING. KALIS	MBTA
Original No.		Date		02/2008	Drawing number
Current No.					455.0.904.000.29

Příloha 3

Výsledky měření trvanlivostí VBD pr.25 mm

Součet z ujetá dráha			materiál operace							
			CLSA		CLSB	ER7	R7T	R8T	R9T	Celkový součet
Označení VBD	v [m/min]	p.č.	1.operace	2.operace	1.operace	2.operace	1.operace	2.operace	2.operace	
RCMT 2507MO-CL4025	120	2				1436,79				1436,79
		3				478,93				478,93
		5				3352,50				3352,50
		6								
RCMX 2507 NC3120	72	15					878,97			878,97
	79	11					1226,85			1226,85
	80	13					606,54			606,54
	89	14					260,32			260,32
	82	10	1829,87							1829,87
	70	18			1146,74					1146,74
		21			569,54					569,54
	86	22							437,74	437,74
	98	23		2167,45						2167,45
	106	24		928,91						928,91
	103	25		3395,07						3395,07
	111	27		2037,04						2037,04
RCMX 2507 TP200	120	4				4310,36				4310,36
	115	19						3301,49		3301,49
	84	16			1146,74					1146,74
	79	28	6317,03							6317,03
	89	12					2082,55			2082,55
	77	17			2866,84					2866,84
	70	20			1708,63					1708,63
	111	26		4753,10						4753,10
Celkový součet			8146,90	13281,57	7438,49	9578,58	5055,23	3301,49	437,74	47240,01